

# 纵轴式掘进机截割头设计参数的研究

黄鹏飞 李天润

西安煤矿机械有限公司 陕西 西安 710200

**摘要:** 截割头作为纵轴式掘进机破岩作业的核心部件,其设计参数直接决定掘进效率、设备损耗及作业稳定性。本文围绕纵轴式掘进机截割头设计,阐述其基本结构与参数分类体系,分析截齿几何、截割头外形、运动及截齿排列等核心参数的作用机理,探究参数间相互影响规律,提出基于截割效率和载荷特性的优化方向及综合匹配原则。研究可为纵轴式掘进机截割头设计参数优化提供理论支撑,助力提升截割头作业性能与使用寿命,满足实际掘进作业需求。

**关键词:** 纵轴式掘进机; 截割头; 设计参数

**引言:** 纵轴式掘进机是矿山、隧道等工程掘进作业的关键设备,截割头作为其核心工作部件,承担着直接破岩、成型断面的重要任务。截割头设计参数的合理性,直接影响掘进作业的效率、安全性及设备维护成本。当前,截割头设计中仍存在参数匹配不合理、载荷分布不均、截齿磨损过快等问题,制约了掘进作业的高效推进。因此,开展截割头设计参数的研究,明确参数作用机理与优化方法,对提升掘进机整体作业性能具有重要现实意义。

## 1 纵轴式掘进机截割头设计基础

### 1.1 纵轴式掘进机截割头的基本结构

截割头是纵轴式掘进机直接完成破岩作业的核心部件,其结构设计直接关系到掘进作业的效率、截齿损耗以及设备整体稳定性。它的整体结构以主轴为中心,主要由筒身、端盘、刀座和截齿四大核心部分组成,各部件协同配合,缺一不可。筒身作为整个截割头的基础承载结构,采用整体锻造工艺制成,表面需要经过精密加工,确保与主轴连接的同轴度,避免作业时出现偏心振动。端盘安装在筒身的前端,其外形设计需适配不同岩体的截割需求,边缘部位与筒身平滑衔接,减少截割过程中的岩石阻力。刀座按照特定规律固定在筒身和端盘表面,其安装位置和角度需结合破岩力学特性设计,既要保证截齿安装牢固,又要让截齿在截割时受力均匀。截齿作为直接与岩体接触的易损部件,通过螺栓固定在刀座上,其排列方式需兼顾破岩效率和截齿磨损均衡,合理的结构布局能有效降低作业过程中的能耗,延长截割头的使用寿命。

### 1.2 截割头设计参数的分类体系

截割头的设计参数种类繁杂,需按照其功能属性和影响范围划分清晰类别,才能确保设计过程有序推进,同时便于参数间的匹配与优化。分类核心围绕截割头的作业需求和结构特性展开,主要分为三大类。第一类是

结构参数,聚焦截割头的整体构造,涵盖筒身直径、长度、端盘尺寸以及刀座的分布间距,这些参数直接决定截割头的外形规格和承载能力,也是后续其他参数设计的基础。第二类是运动参数,主要涉及截割头的旋转速度、进给速度,这类参数与破岩效率直接相关,需结合岩体硬度合理设定,避免速度过高导致截齿过度磨损,或速度过低影响掘进进度<sup>[1]</sup>。第三类是截齿相关参数,包括截齿型号、安装角度和排列密度,这类参数直接影响破岩效果和截齿损耗速率,合理分类能明确各类参数的设计优先级,让设计过程更具针对性,也为后续参数优化提供清晰的方向。

## 2 纵轴式掘进机截割头核心设计参数及作用机理

### 2.1 截齿几何参数的作用机理

截齿的几何参数直接决定其破岩性能,每一项参数的设定都有明确的作用逻辑,相互配合形成完整的破岩机理。齿尖角度是核心参数之一,其大小直接影响截齿切入岩体的阻力大小,角度设计需适配岩体硬度,通常齿尖角度设计为 $60^{\circ}$ – $90^{\circ}$ ,角度过小会导致截齿切入困难,增加设备能耗,角度过大则会降低破岩效率,还容易造成齿尖磨损过快。齿身长度的设计与岩体破碎后的排屑效果密切相关,长度不足会导致岩屑无法及时排出,堆积在截齿周围,增加截割阻力,甚至造成截齿卡滞;长度过长则会降低齿身的刚性,作业时易发生弯曲或断裂。齿宽的作用的是分散截齿受力,避免局部应力集中,合理的齿宽能让截齿在破岩时受力均匀,减少齿面磨损,延长截齿使用寿命。此外,截齿的前角和后角也影响破岩机理,前角决定截齿的切削锋利度,后角则能减少截齿与岩屑的摩擦,降低磨损。各项几何参数并非独立存在,需根据实际作业的岩体特性合理匹配,才能充分发挥截齿的破岩效能,减少设备故障,提升整体掘进效率。

### 2.2 截割头外形参数的作用机理

截割头的外形参数直接影响其破岩阻力、排屑效果和作业稳定性,各项外形参数设计均围绕作业性能优化展开,具备清晰的作用逻辑。筒身直径是最基础的外形参数,其大小决定掘进断面规格,设计需贴合实际掘进需求,直径过大会加重设备运行负荷并加剧振动,直径过小则拉低掘进效率、增多作业循环次数,常规筒身长度通常为1.2~2.0m。筒身长度与截割深度密切相关,长度设计需兼顾作业效率和设备稳定性,过长会造成截割头刚性不足,作业时易产生弯曲变形,过短则要频繁调整设备位置,破坏作业连续性。端盘外形关乎岩屑排出流畅程度,轮廓与截齿排列相互适配,防止岩屑在衔接位置堆积,以此减小截割阻力。截割头锥角参数同样关键,合理锥角设定为 $15^{\circ}$ ~ $30^{\circ}$ ,可引导截齿平缓切入岩体,分散破岩应力,规避局部应力集中损伤截齿,同时优化排屑路径加快岩屑排出<sup>[2]</sup>。各项外形参数相互适配并结合岩体特性统筹设计,可有效降低作业能耗与设备磨损,保障截割作业平稳高效推进。

### 2.3 截割头运动参数的作用机理

截割头的运动参数直接主导破岩过程的效率和稳定性,作用机理体现在旋转与进给的协同配合上,参数设定直接关联作业效果和设备损耗。旋转速度是核心运动参数,决定截齿与岩体的接触频率和切削力度,速度设定需贴合岩体硬度,常规旋转速度控制在30~80r/min,速度过高会加剧截齿与岩体摩擦,增加能耗并加速截齿磨损,甚至出现齿尖崩裂;速度过低会降低切削效率,造成岩体破碎不充分,加大后续排屑难度。进给速度控制截割头推进节奏,与旋转速度形成合理匹配,进给速度通常为50~200mm/min,进给过快会增大截齿承受冲击力,引发截齿弯曲、刀座松动及设备振动加剧;进给过慢会拉长作业周期,拖累整体掘进进度。截割头运动轨迹归属于运动参数,合理设计可让截齿均匀接触岩体,规避局部应力集中,减弱设备振动,同时优化破岩范围,保证掘进断面平整。合理设定各项运动参数,实现旋转与进给精准协同,既能发挥破岩效能,又能保护设备部件,延长使用周期,维持掘进作业平稳高效。

### 2.4 截齿排列参数的作用机理

截齿排列参数的科学设计,是保障截割头平稳高效作业的关键,作用机理围绕截齿受力均衡、破岩有序和排屑顺畅展开,直接影响截割效率与部件损耗。截齿排列参数主要包括排列密度、排列角度和螺旋升角,各项参数相互配合构成完整作业逻辑。排列密度需兼顾破岩效率和截齿损耗,常规排列密度为每米3~8个,密度过大易造成相邻截齿作业干扰,岩屑排出受阻、截割阻力上

升,同时加剧截齿磨损;密度过小会加大单颗截齿破岩应力,引发截齿崩裂、刀座损坏等故障。排列角度适配截割头运动方向与岩体特性,合理角度可让截齿以最优姿态切入岩体,分散切削应力,规避截齿打滑,减少和岩屑之间的摩擦。螺旋升角直接决定排屑效果,合理升角为 $10^{\circ}$ ~ $25^{\circ}$ ,可引导岩屑沿螺旋轨迹快速排出,避免堆积在截割头表面,减小截割阻力与设备振动<sup>[3]</sup>。优化截齿排列参数,能让每颗截齿充分发挥破岩作用,实现受力均衡、排屑顺畅,既提升整体掘进效率,又保护截齿与截割头主体结构,缩减作业维护成本。

## 3 纵轴式掘进机截割头设计参数的优化与匹配

### 3.1 设计参数间的相互影响规律

截割头各项设计参数并非独立存在,而是相互关联、相互制约,其影响规律贯穿设计全过程,直接决定截割头的整体性能。截齿几何参数与排列参数的关联最为紧密,齿尖角度、齿宽的变化会影响排列密度的设定,齿尖角度偏小、齿宽偏小时,需适当增大排列密度,才能避免单颗截齿受力过大;反之,齿尖角度合理、齿宽适中时,可适当减小排列密度,减少截齿间的相互干扰。外形参数对运动参数也存在显著影响,筒身直径增大、长度增加时,截割头的转动惯性会随之增大,需相应降低旋转速度、调整进给速度,避免设备振动加剧、能耗上升;端盘外形设计不合理,会导致排屑不畅,进而影响运动参数的发挥,增加截割阻力。运动参数与截齿相关参数也存在联动关系,旋转速度过快时,需优化截齿几何参数和排列方式,减小截齿磨损;进给速度调整后,需同步适配截齿排列密度,确保破岩均匀、受力均衡。这些参数间的影响是双向的,某一项参数的不合理调整,都会引发其他参数的连锁反应,只有掌握其相互影响规律,才能实现各项参数的协同适配,为后续参数优化奠定基础。

### 3.2 基于截割效率的参数优化方向

优化截割头设计参数的核心目标之一是提升截割效率,优化方向需结合各项参数核心作用机理,贴合实际作业需求,兼顾效能与部件适配。截齿几何参数优化重点聚焦破岩顺畅性,结合岩体特性调整齿尖角度和齿身尺寸,将齿尖角度调至 $75^{\circ}$ 左右,让截齿顺畅平稳切入岩体,减少切削阻力,避免参数不合理造成破岩不充分,有效提升单位时间破岩量。截齿排列参数优化重点是减少截齿间相互干扰,科学合理调整排列密度和螺旋升角,让每颗截齿充分参与破岩,确保岩屑快速排出,避免堆积阻碍作业,间接提升效率。运动参数优化核心是实现旋转与进给速度高效精准适配,根据岩体硬度调整配比,避

免速度过高增加能耗、加速截齿磨损,或过低影响进度,协同优化让截割更连贯高效。外形参数优化围绕减少作业阻力目标,优化筒身直径、端盘轮廓,降低摩擦阻力和振动,提供结构保障<sup>[4]</sup>。各项参数需协同优化,通过全方位合理调整提升截割效率,兼顾设备稳定性。

### 3.3 基于载荷特性的参数优化方向

截割头作业时承受的载荷复杂多变,合理优化设计参数,能有效改善载荷分布,保护设备部件,延长使用寿命,这也是基于载荷特性优化的核心初衷。截齿几何参数的优化需重点考虑载荷分散,通过调整齿尖角度和齿宽,让截齿切入岩体时的冲击力均匀传递,避免局部应力集中导致截齿损坏,同时优化齿身刚性,提升其抗冲击载荷的能力。截齿排列参数的优化核心是实现载荷均衡分配,调整排列密度和角度,让每颗截齿承受的载荷趋于一致,避免部分截齿过载、部分截齿闲置的情况,减少载荷波动对截割头主体结构的影响。运动参数的优化需贴合载荷变化规律,根据岩体硬度和载荷大小调整旋转速度与进给速度,将旋转速度调整至50r/min左右,降低冲击载荷的峰值,避免因载荷突变导致刀座松动、筒身变形等问题。外形参数的优化则聚焦载荷传递的合理性,优化筒身和端盘的结构尺寸,增强截割头的整体承载能力,让载荷均匀传递至主轴,减少局部过载现象。通过针对性优化各项参数,可有效改善截割头的载荷特性,降低设备磨损,提升截割头的运行稳定性和使用寿命。

### 3.4 设计参数的综合匹配原则

截割头设计参数的综合匹配,核心是让各项参数协同发挥作用,兼顾作业效能、设备损耗和运行稳定性,其原则需贴合实际作业场景,结合参数间的相互影响规律合理把控。首要原则是适配岩体特性,所有参数的匹配都需以作业对象的硬度、耐磨性为基础,调整截齿几何参数、运动参数和排列参数,将螺旋升角控制在18°左右,

确保截割头适配不同岩体的破岩需求,避免参数不符造成效率低下或设备损坏。其次是效能与损耗平衡原则,优化参数不能单纯追求截割效率,还要兼顾截齿、刀座等易损部件的损耗,合理匹配各类参数,在提升效率的同时降低部件磨损。再者是参数协同联动原则,各项参数不能单独调整,需考虑相互间的制约关系,调整截齿排列参数后同步优化其余参数,确保参数间协同适配。最后是结构与性能统一原则,外形参数的匹配需兼顾截割头的刚性和作业灵活性,几何与排列参数贴合整体结构,让截割头兼具承载能力与平稳作业能力<sup>[5]</sup>。合理遵循这些原则,才能实现各项参数的最优匹配,充分发挥截割头的整体性能。

结束语:未来,可结合更先进的破岩理论与仿真技术,进一步细化截割头设计参数与岩体特性的适配关系,弥补现有参数优化中对复杂岩体适配不足的问题。可探索多参数耦合优化方法,提升参数匹配的精准度,进一步降低设备损耗、提升掘进效率。同时,可结合实际作业反馈,持续优化参数综合匹配原则,推动截割头设计向智能化、高效化方向发展,为各类掘进工程提供更可靠的设备技术支持,助力掘进作业提质增效、降本降耗。

### 参考文献:

- [1] 闫俊峰.考虑截齿寿命的煤矿悬臂式掘进机截割头优化设计研究[J].机械管理开发,2025,40(10):30-32.
- [2] 赵冬冬.煤矿掘进机截割头截齿排列方式优化设计研究[J].机械管理开发,2025,40(7):233-235.
- [3] 郭莹.面向硬质煤岩体的掘进机截割头设计研究[J].机械管理开发,2025,40(3):119-121+124.
- [4] 张金海.煤矿EBZ型纵轴悬臂式掘进机截割路径控制设计与仿真[J].矿业装备,2025(11):25-27.
- [5] 李宁.煤矿掘进机截割头截齿受力分析及排列优化设计[J].机械管理开发,2025,40(3):51-53.